

Título del trabajo/ Title of paper

**ALUMBRADO EN VEHÍCULOS ESPACIALES**

Autor/es/ Author/s

Francisco J Bugallo Siegel

Afiliación/es del autor/es/ Affiliation/s of the author/s

E.T.S.I. Aeronáuticos y E.U.I.T. Aeronáutica – Universidad Politécnica de Madrid

Dirección principal/ Mail adress

Plaza del Cardenal Cisneros, 3 – 28040 MADRID

Teléfono, fax, e-mail de la persona de contacto/  
Phone, fax number and e-mail adress of the contact person

Telf. 913366315  
Fax 913366321  
f.bugallo@upm.es

Tema: Científico y Formación

Alumbrado interior y Luz natural  
Aspectos generales de la iluminación  
Científico y Formación  
Divulgación  
Economía de la iluminación  
Eficiencia Energética  
Fotobiología, Fotoquímica y UV  
Fotometría y Luminotecnia  
Fuentes de luz  
Iluminación y Señalización para el transporte

Imagen  
Informática  
Investigación y Desarrollo  
Los LEDs y sus aplicaciones  
Luz y Salud  
Normativa y Legislación  
Novedades  
Realizaciones  
Visión y color

## ALUMBRADO EN VEHÍCULOS ESPACIALES

### 1.- BREVE HISTORIA DE LOS TRANSBORDADORES ESPACIALES (SPACE SHUTTLE).

Finalizándose el programa espacial Apollo, la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de los Estados Unidos de Norteamérica, NASA (National Aeronautics and Space Administration), que es la agencia gubernamental responsable de los programas espaciales, comenzó a analizar el futuro del programa espacial Norteamericano. Durante la campaña de los Apollo los cohetes impulsores utilizados, para colocar los astronautas y los equipos en el espacio exterior, se basaban en el uso de cohetes desechables. En el futuro se necesitarían cohetes fiables, menos costosos y que pudiesen ser reutilizables. La idea de un transbordador espacial reutilizable que se pudiese lanzar como un cohete, pero que su reentrada a la tierra fuera como la de un avión, era un desafío atractivo y un gran logro técnico.

La NASA comenzó con el diseño, y los estudios de ingeniería y costes, para un transbordador espacial. Intervinieron en ellos muchas empresas del sector aeroespacial. En 1972, el presidente Nixon anunció que la NASA desarrollaría un transbordador espacial reutilizable, Space Transportation System (STS). La NASA decidió que la nave en conjunto constaría de un vehículo espacial adjunto a dos cohetes impulsores con propulsante sólido y un tanque de combustible líquido externo, ya que este diseño se consideraba el más seguro y rentable. El contrato principal para el desarrollo del transbordador fue otorgado a Rockwell International.

En un principio las naves orbitales tipo Apollo estaban diseñadas con escudos de calor ablativos, es decir, que se quemaban durante la reentrada a la atmósfera de la Tierra. Sin embargo, para que fuesen reutilizables los vehículos espaciales se debería seguir una estrategia diferente. A los diseñadores se les ocurrió la idea de recubrir el transbordador espacial con muchas losetas de cerámica aislante para que absorbiesen el calor durante el reingreso a la atmósfera sin dañar a la nave y a los astronautas.

Por último, el transbordador debería volar como un avión, más que como un planeador, durante el aterrizaje.

Después de muchos años de construcción y ensayos, tanto del vehículo espacial como de los motores principales, tanques de combustible externos, cohetes impulsores, etc., el transbordador estuvo listo para volar.

Se construyeron cinco vehículos espaciales: Enterprise (prototipo para ensayos) (1974), Columbia (1979 – 2003), Challenger (1982 – 1986), Discovery (1983) y Atlantis (1985). El primer vuelo se realizó en 1980 con el transbordador espacial Columbia, pilotado por los astronautas John Young y Robert Crippen. Una vez comprobado el correcto vuelo y funcionamiento de la nave, se pasó a la construcción de las restantes. En 1986 durante el vuelo de despegue se destruyó la nave Challenger, cuando la llama de una fuga en uno de los cohetes impulsores incendió el combustible del tanque externo principal de combustible líquido. El Challenger explotó falleciendo toda su tripulación. Debido a este accidente, se suspendió el programa de transbordadores durante varios años.

En la reanudación del programa se construyó la nave Endeavour (1991), para reemplazar en la flota de transbordadores al Challenger. En el año 2003, debido al impacto en el ala izquierda de un trozo de espuma aislante del tanque externo produjo un agujero en el blindaje térmico lo suficientemente grande para que la nave Columbia ardiese durante la reentrada a la atmósfera de la Tierra perdiéndose la nave y la tripulación.

Una vez más se detuvo el programa de transbordadores, esta vez durante un año. La nave Columbia no fue reemplazada por una nueva.

Hasta la fecha los transbordadores espaciales han volado cerca de una cuarta parte de su vida útil prevista, unas 100 misiones. Durante este período de tiempo fueron sometidas a reparaciones exhaustivas y diversos cambios de diseño para hacerlas más seguras y para llevar cargas útiles más pesadas hacia órbitas terrestres.

Las misiones típicas de las lanzaderas espaciales son de siete a ocho días pero pueden extenderse hasta 14 días dependiendo del objetivo de la misión.

Para elevar las dos toneladas, peso del conjunto, desde la plataforma de despegue a la trayectoria orbital situada desde unos 185 a 643 kilómetros de distancia de la Tierra, la lanzadera utiliza dos cohetes de propulsante sólido (71% de la fuerza total), los tres motores principales del vehículo (21% de la fuerza total), el tanque de combustible líquido externo y el sistema para maniobras orbitales del vehículo.



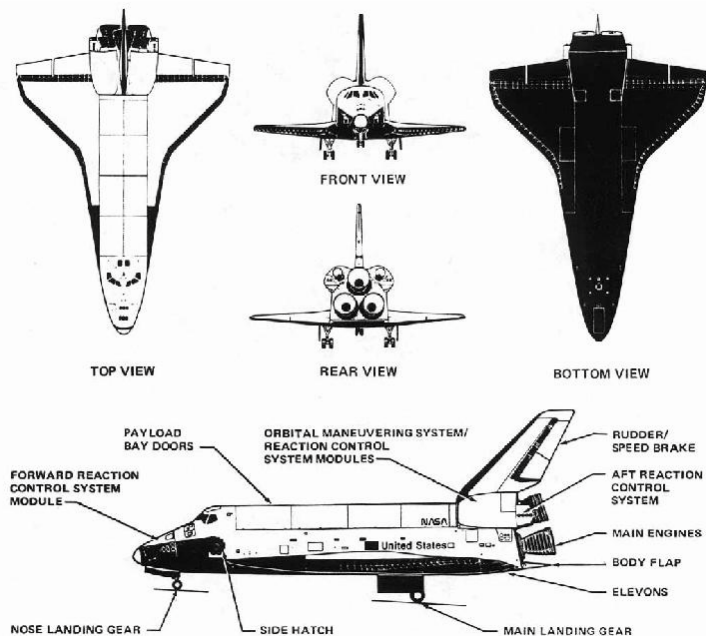
**Figura 1.-** Space Shuttle en la plataforma de despegue. Los dos cilindros más pequeños adosados a los laterales del cilindro más grande, depósito de propulsante líquido, son los cohetes de propulsante sólido. NASA

## 2.- DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO ORBITAL

El vehículo orbital está formado por las siguientes secciones: **a.-** Fuselaje de proa y compartimento de la tripulación. **b.-** Fuselaje intermedio o bodega de carga. **c.-** Fuselaje de popa o cola.

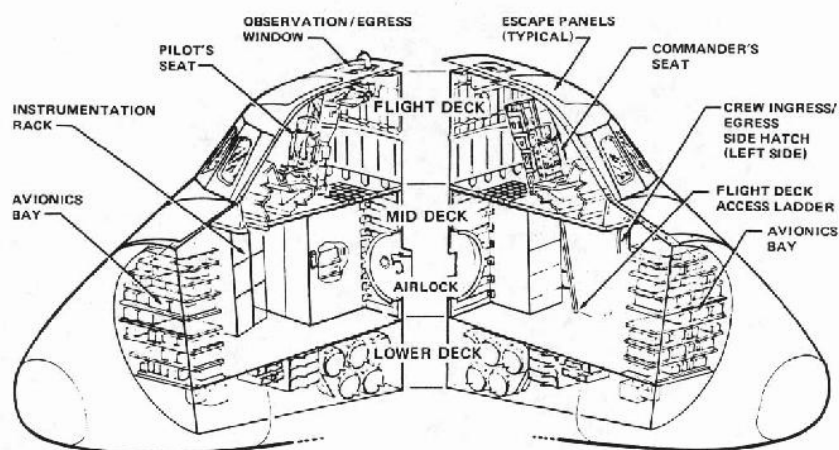
### Dimensiones y pesos:

Envergadura del ala: 23'79 m; Longitud: 37'24 m; Altura: 17'25 m; Ancho tren aterrizaje: 6'91 m; Peso al despegue: Variable; Peso al aterrizaje: Variable; Peso inerte: 74.844 Kg



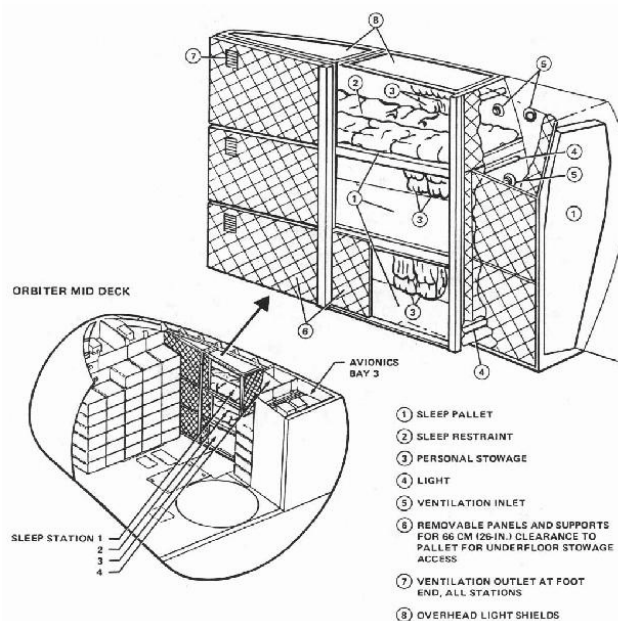
**Figura 2.-** Principales secciones del vehículo orbital. NASA.

**a.- Fuselaje de proa.** De 2.325 ft<sup>3</sup> (unos 66 m<sup>3</sup>) contiene la cabina de vuelo, la vivienda de la tripulación y una estación de trabajo para experimentos. Esta zona se halla presurizada y proporciona soporte físico a la sección de morro en la que se disponen los equipos de aviónica y se aloja el tren de aterrizaje de morro. El compartimento de la tripulación dispone de tres niveles o cubiertas:



**Figura 3.-** Sección del fuselaje de proa. NASA.

(1).- La cubierta superior, de unos 4 m<sup>2</sup>, dispone a proa la cabina de vuelo con asientos para el comandante (lado izquierdo), el piloto (lado derecho) y dos especialistas, por detrás de los anteriores. En la parte posterior se hallan los controles para las operaciones en órbita: maniobras de la nave en órbita, encuentro y acoplamiento, etc., y control de trabajos de despliegue de las cargas de pago por control remoto mediante un brazo robot. En esta cubierta existen seis parabrisas frontales que pueden soportar altas presiones que están dotadas de filtros reflectores de las radiaciones infrarrojas dejando pasar la luz visible. Dispone además de dos ventanas en la parte superior, dotadas de filtros antirreflectantes para mejorar la transmisión de la luz visible, y dos traseras para la visualización de la bodega de carga, y una ventanilla en la escotilla lateral de acceso y emergencia en la cubierta intermedia. Durante las operaciones en órbita, las grandes superficies acristaladas de las ventanillas exponen a la tripulación a deslumbramientos por el Sol, para evitarlo se dispone de filtros y pantallas ensombrecedoras. Estas últimas para todas las ventanillas del vehículo orbital. En el piso existen dos trampillas, de 0'71 x 0'7 m, situadas detrás de los asientos del comandante y piloto, que dan acceso a la cubierta intermedia. Normalmente se abre la trampilla derecha, detrás del asiento del piloto, y la izquierda permanece cerrada.



**Figura 4.-** Una de las múltiples configuraciones adoptadas en la cubierta intermedia del fuselaje de proa. NASA.

(2).- La cubierta intermedia, de unos 15 m<sup>2</sup>, es la vivienda de la tripulación con cocina, literas para dormir (normalmente cuatro), cuarto de aseo, etc. Dispone de compartimentos de estiba para el equipo personal de la tripulación, equipos esenciales para la misión, experimentos, equipos para el ejercicio de la tripulación, exclusiva de aire (se utilizan para los paseos espaciales pudiéndose colocar tanto en el interior del compartimento de la tripulación como en el interior de la bodega de carga) en algunas misiones y la escotilla lateral de entrada o emergencia. La exclusiva contiene dos trajes espaciales, material fungible para dos períodos de seis actividades, una carga de contin-



gencia o emergencia y ayudas para la movilidad. La sala de la exclusiva permite que dos miembros de la tripulación se cambien los trajes espaciales. El número máximo de tripulantes es de siete. La cubierta intermedia se puede reconfigurar mediante la adición de asientos de salvamento en el emplazamiento de los módulos de estiba y dormitorio. Así la capacidad de asientos será de tres para la tripulación de vuelo de rescate y un máximo de siete tripulantes rescatados

(3).- La cubierta inferior, o de equipos, contiene los equipos para el soporte vital de la tripulación, sistemas eléctricos, etc.

**b.- Fuselaje intermedio.** Conforman la bodega de carga de la nave. Soporta los portones de la bodega, sus bisagras y herrajes de amarre así como varios componentes del sistema del vehículo orbital. Los portones de la bodega de carga sustentan los paneles radiadores esenciales para la refrigeración de la nave. Una de las primeras maniobras que han de realizar los astronautas es abrir las compuertas de carga para enfriar la nave orbital. En la bodega se encuentra el brazo robot, o sistema de manipulación remota (RMS), de 15 m de longitud manejado remotamente desde la cabina de vuelo del vehículo orbital. Es utilizado para desplazar grandes piezas de equipo dentro y fuera de la bodega de carga.

**c.- Fuselaje de popa.** Contiene los sistemas de maniobra orbital, los motores principales de la nave, el flap de fuselaje, el estabilizador vertical, o cola, y los tanques externos de combustible. El mamparo de proa de la sección cierra el fuselaje de popa de la sección intermedia. La parte superior del mamparo está sujeto al timón. La estructura interna de empuje soporta los tres motores principales del vehículo orbital con sus turbo-bombas de baja presión y líneas de carburante.

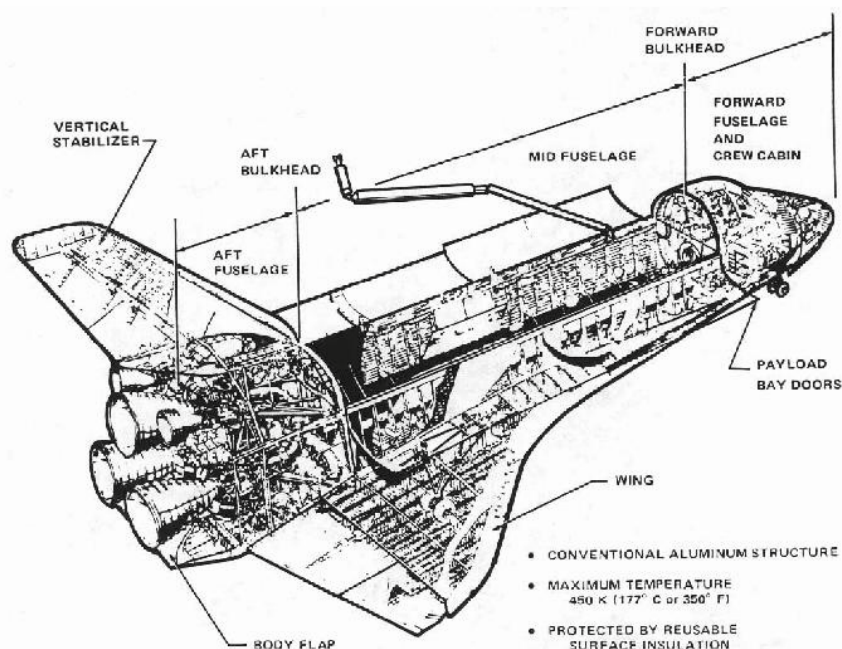


Figura 5.- Vista posterior del vehículo orbital. NASA.

### 3.- SISTEMA DE SOPORTE A LA VIDA

A bordo de los vehículos espaciales es necesario para la supervivencia de la tripulación: **a.-** Una atmósfera similar a la de la Tierra. **b.-** Eliminar el dióxido de carbono exhalado por los tripulantes. **c.-** Eliminar gases contaminantes. **d.-** Una humedad de ambiente normal. **e.-** Agua. **f.-** Control de la temperatura. (En el caso del traje extravehicular de un astronauta, la cara sobre la que incide la luz solar suele hallarse a una temperatura de unos 120°C, mientras aquella expuesta a la oscuridad del espacio se suele estar a unos -120°C, como valores promedio. Así las superficies de los vehículos espaciales y de los trajes que llevan los astronautas son muy reflectantes, de manera que puedan rechazar el calor procedente del Sol). **g.-** Iluminación. En una órbita nominal la sucesión de luz y oscuridad es de unos 45 minutos. Este abrupto cambio en el ritmo de sucesión del día y de la noche hace imprescindible el uso de la iluminación artificial, tanto en el interior como en el exterior del vehículo espacial, no sólo para adecuar los niveles de iluminación sino también para mantener el estado psicológico adecuado de la tripulación. **h.-** Alimentos. **i.-** Eliminación de residuos. **j.-** Protección contra incendios.

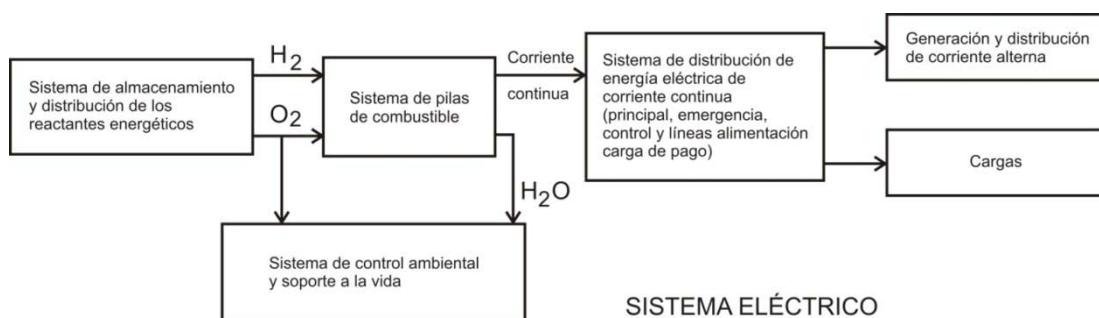
### 4.-SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico del vehículo orbital es primordial en el mantenimiento de la vida y desarrollo de las actividades en el mismo, en particular, es fundamental para el funcionamiento de los sistemas de iluminación.

Funcionalmente se puede dividir en tres subsistemas: **1.-** Almacenamiento, distribución y control de reactivos para la generación de electricidad. **2.-** Tres células de combustible. **3.-** Distribución y control de la energía eléctrica.

A través de una reacción química, las tres células de combustible generan una corriente continua de 28 voltios para el vehículo orbital desde 3 minutos 3 segundos antes del lanzamiento hasta la parada de motores después del aterrizaje. Durante las operaciones normales la interacción de la tripulación con el sistema es prácticamente nula.

Las tres células de combustible se encuentran bajo la carga útil en la bodega de carga, en la parte delantera del fuselaje intermedio. Cada célula de combustible, de dimensiones 36 cm de alto, 38 cm de ancho, 102 cm de largo y peso 116 kg, es reutilizable y reinicializable. Las células de combustible generan como subproducto calor y agua. El exceso de calor se utiliza para calentar los combustibles a través de un intercambiador cuyo refrigerante es el Freón. El agua se envía al subsistema de almacenamiento de agua para el control ambiental y soporte a la vida.



**Figura 6.-** Diagrama de bloques del sistema eléctrico.

La tensión nominal y el rango de cada una de las pilas de combustible es de 2 kW a 32.5 voltios de corriente continua, 61.5 amperios hasta 12 kW a 27.5 voltios de corriente continua, 436 amperios. Cada una es capaz de suministrar 10 kW de forma continua en condiciones normales, 12 kW de forma continua en situaciones anormales (con fallo de una o más células), y hasta 16 kW durante 10 minutos. El promedio de consumo de energía eléctrica de la nave orbital es de aproximadamente 14 kW, con una capacidad adicional para las cargas de pago. Cada célula de combustible es revisada entre vuelos y reutilizada hasta acumular 2.000 horas de servicio.

Los 28 voltios de corriente continua generados por cada una de las tres células se distribuyen a las barras principales. Estas tres barras son la fuente primaria de energía para las cargas de corriente continua del vehículo orbital. Cada una de las tres barras principales está conectada a tres inversores monofásicos de estado sólido los cuales produce una corriente alterna trifásica. Así los nueve inversores (tres por célula) convierten la corriente continua a corriente alterna 117 (+3, -1) voltios rms de tensión simple, 400 ( $\pm 7$ ) hercios para alimentar las cargas de corriente alterna del vehículo orbital. Las tensiones y forma de distribución de la energía eléctrica son similares a la que se utiliza en las aeronaves.

## **5.- REQUERIMIENTOS EN LA ILUMINACIÓN DEL VEHÍCULO ORBITAL.**

Durante el vuelo orbital, hay unas condiciones de iluminación dinámica extraordinarias al desarrollarse en un prístino medio ambiente. A 250 km sobre la Tierra la órbita es de 90 minutos con 45 minutos de luz y 45 minutos de oscuridad, provocando trastornos circadianos y cambios fisiológicos y de comportamiento. La reflexión y el deslumbramiento provocado por los materiales de la propia nave puede causar problemas significativos. Puede afectar a las maniobras de alineación y acoplamiento del vehículo con otros equipos, al desarrollo de experimentos dentro del vehículo orbital, a las operaciones con el brazo robot (RMS), etc.

Para planificar las condiciones de luz, la NASA utiliza el programa Radiance Syntetic Imaging System, desarrollado por Lawrence Livermore National Laboratory.

La importancia de la investigación de la iluminación en el espacio no puede ser subestimada. Es fundamental disponer de: **a.-** Un modelo preciso de las condiciones de luz en el órbita para desarrollar operaciones seguras y eficientes en el espacio, **b.-** Los componentes clave para el análisis de; los criterios sobre los cometidos de la luz; los modelos informáticos basados en el medio ambiente; las propiedades de los materiales reflectantes, **c.-** Investigación en mejoras de las simulaciones sobre iluminación real. Los astronautas se entrenan en unas condiciones perfectas de iluminación y tienen grandes dificultades cuando se enfrentan con iluminaciones reales, como por ejemplo cuando surge una rápida transición a la oscuridad se tiene una sensación de caída.

En este apartado se desarrollan las consideraciones y requisitos generales para la iluminación interior del vehículo orbital.

### **5.1.- Consideraciones sobre el diseño de la iluminación.**

El sistema de iluminación del vehículo orbital se ha diseñado para optimizar las condiciones de visión para todas las actividades que se desarrollan en el. Estas varían desde unos requisitos muy generales de visión, tal como para moverse, a tareas visuales críticas en las que se requiere una discriminación de los colores, visión de detalles



finos y de instrumentos, o detección de objetos oscurecidos o detalles de los planetas por la noche. Los factores a considerar en la iluminación son:

**a.- Color de la fuente de luz.** Las fuentes de luz que se utilizan en la mayoría de las zonas de trabajo y residencia son blancas ya que hace que las personas y las cosas se muestren naturales, y permiten reconocer los colores especiales de las superficies. Los diseñadores se han esforzado en utilizar una iluminación interior que se aproxima al espectro de la luz del Sol. La luz roja se utiliza cuando es necesario que los tripulantes permanezcan con la visión adaptada a la oscuridad, por ejemplo cuando tienen que observar el exterior por la noche a través de una ventanilla, pero además puedan leer un instrumento situado en el interior del vehículo orbital.

**b.- Intensidad de la luz.** La intensidad de la luz ha de ser la suficiente para permitir a las tripulaciones realizar las tareas de forma eficiente, pero no tan elevada que provoque deslumbramientos. Generalmente, los trabajos más minuciosos o de más duración deberán tener una mayor iluminación, por ello, cada sistema de iluminación ha de ser regulable, para permitir a la tripulación optimizar el nivel de iluminación a sus condiciones visuales.

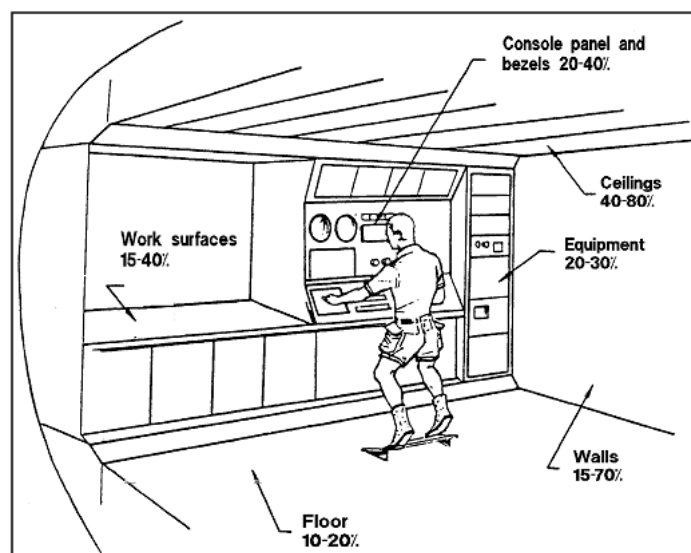
**c.- Situación de las luces.** Las fuentes de luz deberán estar situadas de acuerdo con lo que se vaya a iluminar, por ejemplo, superficies, objetos, personas, instrumentos, documentos o signos. No deben brillar hacia los ojos de la tripulación, o causar serias reflexiones que podrían degradar el rendimiento visual en las tareas. Cada sistema de iluminación deberá ser regulable para permitir a la tripulación optimizar sus condiciones de visión.

**d.- Distribución luminosa.** Como regla general, en la iluminación de los entornos de trabajo o de residencia se deberá eliminar el deslumbramiento y sombras que interfieran con los trabajos prescritos. Son importantes para la distribución de la luz los tres factores siguientes: Luz ambiente, que en general debe distribuirse de forma que mejore la apariencia (por ejemplo la amplitud) y características de funcionalidad de un volumen interior; Luces suplementarias, que pueden ser necesarias para iluminar espacios de entornos especiales; Pantallas autoiluminadas, o pantallas luminosas, tales como los tubos de rayos catódicos, pueden requerir una reducción en la iluminación, para mejorar su visión, evitar reflejos y deslumbramientos. Cuando sea necesario y práctico el operador deberá disponer siempre el control sobre cada tipo de luz.

**e.- Características de los materiales del entorno de trabajo.** Los diferentes materiales y superficies reaccionan de forma diferente a las distintas técnicas de iluminación. Los materiales lisos, satinados, frontales de instrumentos, ventanas y superficies pintadas tienden a crear problemas de reflexión. La reducción de estos problemas requiere considerar el tipo y posición de las fuentes de luz, control del nivel de iluminación y el posible uso de recubrimientos antirreflectantes.

**f.- Adaptación del observador a la luz y oscuridad.** Las condiciones de iluminación de la zona de trabajo han de ser estudiadas en cada caso para prevenir o minimizar la necesidad de que un tripulante cambie rápidamente desde un medio muy brillante a uno muy oscuro y viceversa.

**g.- Factores psicológicos en las consideraciones de diseño.** Aunque la energía eléctrica disponible limita la capacidad de proporcionar niveles elevados de iluminación en todo el módulo espacial, un mayor nivel de iluminación ambiental tiene un claro efecto beneficioso sobre la moral de los tripulantes. Se deberá considerar un nivel de iluminación razonablemente elevado para actividades tales como la preparación de los alimentos y la comida, descanso e higiene personal.



**Figura 7.-** Valores típicos de reflectancia sobre superficies de trabajo en vehículos espaciales. NASA-STD-3000.

## 5.2.- Requerimientos de diseño en niveles de iluminación.

**a.- Niveles generales de iluminación.** La iluminación general del módulo espacial será de al menos 108 lux de luz blanca. Los niveles de iluminación requeridos para las actividades extravehiculares, EVA, se comentarán posteriormente.

**b.- Iluminación de áreas de trabajo específicas.** El nivel de iluminación será medido sobre las superficies de trabajo primarias, dentro del 80% del flujo máximo de salida. Los requisitos específicos de la zona de trabajo dentro del vehículo espacial están definidos en la Tabla 1, que a su vez define los niveles de iluminación de las estaciones de trabajo.

Área o trabajo	Lux
GENERAL	108
PASILLOS	54
Escotillas	108
Agarraderos	108
Escalas	108
AREAS ALMACENAMIENTO	108
SALA	215
Lectura	538
Esparcimiento	323
COCINA	215
Comedor	269
Preparación alimentos	323
HIGIENE PERSONAL	108
Aseo	269
Gestión de residuos	164
Ducha	269

ALOJAMIENTO TRIPULACIÓN	108
Lectura	323
Dormitorio	54
Área o trabajo	Lux
MANTENIMIENTO DE LA SALUD	215
Primeras ayudas	269
Cirugía	1076
Tratamiento I.V:	807
Ejercicio	538
Laboratorio clínico hiperbárico	538
Imágenes televideo	538
PUESTO DE TRABAJO	323
Mantenimiento	269
Controles	215
Ensamblaje	323
Transcripción	538

Tabulación	538
Reparación	323
Paneles (contraste positivo)	215
Paneles (contraste negativo)	54
Lectura	548
ILUMINACIÓN NOCTURNA	21

ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA	32
---------------------------	----

**NOTA:** Los niveles son medidos en el puesto de trabajo o a 760 mm sobre el suelo. Todos los niveles son mínimos.

**Tabla 1.-** Niveles de iluminación en vehículo espacial. NASA-STD-3000.

**c.- Niveles de iluminación de zonas para dormir.** Se aplican los siguientes requisitos a las zonas para dormir: (a).- El nivel de iluminación será ajustable desde cero al valor máximo para esta zona; (b).- Se deberá proporcionar, para permitir la evacuación por emergencia de las zonas para dormir, una iluminación mínima de 32 lux, u otra medida para orientación visual.

**d.- Niveles de iluminación para la adaptación a la oscuridad.** Si se necesita una adaptación máxima a la oscuridad, es aceptable una iluminación con luz roja, o bajos niveles de luz blanca (coordenadas de color de la curva CIE x e y iguales  $0.33 \pm 0.030$ ). Todas las pantallas y controles retroiluminados deberían ser visibles cuando todas las luces restantes estén apagadas. Cuando sea necesaria la adaptación a la oscuridad para la ejecución de tareas, se deberán tomar las siguientes medidas: (1).- Bajo nivel de iluminación para la ejecución de tareas de forma que minimice las pérdidas de adaptación a la oscuridad; (2).- Protección a la luz errática en las áreas que requieran un bajo nivel de iluminación debiendo estar protegidas de las fuente de luz; (a).- Todas las ventanillas que dan al exterior deberán estar provistas con protectores contra la luz (persianas, cortinas, etc.). (b).- Todas las puertas de paso deberán ser estancas a la luz cuando estén cerradas.

### **5.3.- Requerimientos de diseño de la distribución luminosa.**

**a.- Deslumbramiento por las fuentes de luz.** Recordando que el deslumbramiento es la sensación producida por cualquier luminancia, dentro del campo visual, que sea lo suficientemente mayor que la luminancia a la cual el ojo está adaptado, causando fatiga en los ojos, incomodidad, irritación o interferencia con la visión y la visibilidad, se tomaran las siguientes disposiciones, en la medida de lo posible, para evitar deslumbramientos debido a fuentes de luz: (1).- Localizar las fuentes de luz delante o al lado de los operadores para que no brillen directamente sobre los mismos. Esto incluye la zona dentro de los 60 grados a cualquier lado del centro del campo visual; (2).- Utilizar más fuentes de luz relativamente atenuadas, en vez de pocas muy brillantes; (3).- Como protección contra el deslumbramiento utilizar luz polarizada, pantallas, capuchas, lentes, difusores y viseras; (4).- Utilizar sistemas de iluminación indirecta para proporcionar una iluminación general uniforme y libre de deslumbramientos; (5).- La relación de luminancias, para las luminarias, no debería exceder de 5:1 de valores máximo a medio, sobre el área de visión.

**b.- Deslumbramiento por reflexión.** (1).- La luminancia de la reflectancia especular del fondo del lugar de trabajo no será superior a 3 veces la luminancia media del fondo inmediato. (2).- La luminancia de la reflectancia especular de un puesto de trabajo remoto no será mayor de 10 veces la luminancia media del fondo remoto.

(3).- Reflexión sobre superficies – La reflexión sobre la superficie de trabajo deberá ser difusa y no deberá exceder del 20% de especularidad. (4).- Ángulo de incidencia – Las fuentes de luz directa se ajustarán de forma que su ángulo de incidencia sobre el plano visual de trabajo no sea el mismo que el ángulo de visión del operador. (5).- Superficies pulidas – Evitar la colocación de superficies lisas muy pulidas en los 60 grados o campo normal de visión de los operadores. (6).- Fuente de luz detrás del operador – No situar luces brillantes detrás de los operadores de forma que las gafas o pantallas puedan por reflexión provocar deslumbramiento en los ojos del operador.

**c.- Relación de brillo.** (1).- La luminancia media sobre las paredes deberá estar entre 50 – 80% de la luminancia media de la superficie del techo. (2).- La relación entre la luminancia máxima y mínima para cualquier superficie individual no deberá exceder de 10:1. (3).- La relación de brillos entre las áreas más luminosas y las más oscuras o entre el área de trabajo y el entorno no deberá ser mayor que lo especificado en la Tabla 2.

Comparación	Clasificación ambiental <sup>a</sup>		
	A	B	C
Entre superficies iluminadas y superficies oscuras en el interior de la zona de trabajo	5 a 1	5 a 1	5 a 1
Entre zonas de trabajo y entornos oscuros adyacentes	1 a 3	1 a 3	1 a 5
Entre zonas de trabajo y las superficies más remotas oscuras	10 a 1	20 a 1	<sup>b</sup>
Entre zonas de trabajo y las superficies más remotas iluminadas	1 a 10	1 a 20	<sup>b</sup>
Entre las luminarias y las superficies adyacentes	20 a 1	<sup>b</sup>	<sup>b</sup>
Entre el área inmediata de trabajo y el resto del ambiente	40 a 1	<sup>b</sup>	<sup>b</sup>

Notas:

<sup>a</sup> A – Áreas interiores en las que las reflectancias de todo el espacio puede ser controlado para una óptima condición visual.

B – Áreas en las que la reflectancia en el área inmediata de trabajo puede ser controlada, pero sólo hay un control limitado sobre el entorno remoto.

C – Áreas (dentro o fuera) en las que es totalmente impracticable el control de las reflectancias y difícil modificar las condiciones ambientales.

<sup>b</sup> No es práctico el control de la relación de brillos.

**Tabla 2.-** Requerimientos en la relación de brillos. NASA-STD-3000.

**d.- Color de la luz.** La luz artificial deberá cumplir los siguientes requisitos de color: (1).- Luz blanca – Las áreas de trabajo deberán estar iluminadas con luz blanca. La temperatura de color deberá ser de al menos 5.000 K para lámparas fluorescentes y mayor de 3.800 K para lámparas incandescentes; (2).- Variación de la temperatura de color – Las fuentes de luz deberán tener una correlación de la temperatura de color en el campo visual de 3.000 K cuando funcionan a máxima potencia; (3).- Reproducción del color – Salvo que se especifique el mínimo CIE, el índice general de color (Ra) de cualquier fuente de luz deberá ser de 90 o mejor.

Valores típicos del índice de color CRI (Color Rendering Index) para algunas fuentes de luz	
Fuente de luz	CRI
Fluorescente blanco cálido	55
Fluorescente blanco frío	65
Fluorescente blanco cálido Deluxe	73
Fluorescente luz día	79
Metal halide 4200K	85
Fluorescente blanco frío	86

Valores típicos del índice de color CRI (Color Rendering Index) para algunas fuentes de luz	
Fuente de luz	CRI
Deluxe	
Metal halide 5400K	93
Sodio baja presión	0-18
Sodio alta presión	25
Incandescente 100-watt	100

**Tabla 3.-** Valores típicos del índice de color CRI (Color Rendering Index). NASA-STD-3000.

**e.- Luminarias y sistemas de control.** Se aplican los siguientes requerimientos a las luminarias y sistemas de control: **(1).- Luces de emergencia** – Se deberá disponer de un sistema independiente autoalimentado de forma que se active automáticamente cuando el sistema de alimentación primario falle o el sistema principal de iluminación se averíe provocando un disparo de las protecciones. La iluminación de emergencia proporcionará un nivel de iluminación dado por la Tabla 1. **(2).- Controles** – Los controles de la iluminación deberán cumplir los siguientes requisitos: (A).- Mandos obligatorios – Cada luminaria deberá tener su propio control. Además se deberá disponer de un control centralizado de iluminación por cada compartimento o pasillo; (I).- Localización – Los controles de la iluminación deberán estar dispuestos a la entrada y salidas de las áreas habitadas; (II).- Dormitorios – Los controles de la zona de dormir estarán al alcance de los miembros de la tripulación cuando están durmiendo; (III).- Controles – Los controles de la iluminación artificial en los puestos de trabajo deberán estar localizados dentro del alcance del operador en la pantalla o panel de control o del puesto de trabajo que se vea afectado. (B).- Identificación de los mandos – Los controles de iluminación deberán estar iluminados en las zonas que estén frecuentemente a oscuras. (C).- Variabilidad – Los controles de oscurecimiento deberán proporcionar una variación discreta o continua de la iluminación cuando sea necesario para la misión. **(3).- Parpadeo (Flicker)** – Las fuentes de luz no han de tener un parpadeo perceptible. **(4).- Carcasa de protección** – Las siguientes medidas de protección se incorporarán a los accesorios de iluminación: (A).- Protección de la tripulación – Las fuentes de luz deberán estar protegidas contra daños por la actividad de los tripulantes. (B).- Superficies calientes – Las luminarias estarán provistas de cubiertas de protección cuando la temperatura de la superficie exceda a la máxima temperatura permitida, para un contacto continuo con la piel desnuda, de 45° C. (C).- Rotura de bulbos o de lentes – Se



incorporará en todas las luminarias dispositivos para contener todos los fragmentos de vidrio en el caso de rotura de los bulbos o las lentes. (D).- Reemplazamiento de los bulbos – Se incorporará en todas las luminarias dispositivos que permitan el reemplazo de los bulbos o luminarias de forma adecuada, sin herramientas y sin poner en peligro a la tripulación. **(5).- Lámparas portátiles** – Se dispondrá de lámparas portátiles si son necesarias para iluminar zonas inaccesibles o como suplemento de iluminación para las tareas tal como la fotografía.

**f.- Iluminación médica.** **(1).**- Requerimientos de iluminación en el módulo habitacional y en la cámara hiperbárica: (A).- La intensidad de la luz deberá ser la especificada en la Tabla 1. (B).- La iluminación mínima (o de contingencia) necesaria para tratamientos a pacientes es de 500 lux. (C).- La fuente de luz deberá tener una temperatura de color de 5.000 K. Si se usa lámparas de filamento como fuentes de luz, la temperatura de color deberá ser de 4.200 K o mayor. (D).- La equivalencia de temperatura de color y uniformidad deberán estar de acuerdo con lo indicado en los requisitos de color de la luz artificial. **(2).**- Iluminación para cirugía: (A).- La luz para cirugía deberá ser el doble que la luz odontológica. (B).- También serán aplicables para la luz para cirugía las consideraciones de temperatura de color de 5.000 K para la fuente de luz, y 4.200 K o mayor si las lámparas son del tipo incandescente, así como la necesidad de correlación entre la temperatura de color en el campo visual, de 300 K, cuando se opera con la máxima potencia y el rendimiento del color Ra que deberá ser mejor de 90. (C).- La iluminación máxima de apoyo en los procedimientos quirúrgicos deberá ser de 4.000 lux máximo en el centro de la superficie, de 500 centímetros cuadrados localizada a 147 centímetros del área de trabajo. (D).- La iluminación puede disminuir desde el centro del haz al borde en no más del 20% de la iluminación máxima. (E).- Las luminarias deberán ser direccionables dentro de un hemisferio completo. (F).- Las luminarias pueden ser enfocables desde un diámetro de haz de 45 cm hasta 5 cm. (G).- Mediante el diseño de las luminarias deberán ser minimizadas las sombras en el campo quirúrgico. (H).- Deberá ser minimizada la energía radiante en la región del espectro comprendida entre 800 y 1.000 nm (infrarrojos). **(3).**- Iluminación de imágenes. (A).- Serán aplicables las consideraciones de temperatura de color de 5.000 K para la fuente de luz, y 4.200 K o mayor si las lámparas son del tipo incandescente, así como la necesidad de correlación entre la temperatura de color en el campo visual de 300 K cuando se opera con la máxima potencia y el rendimiento del color Ra que deberá ser mejor de 90. (B).- La iluminación mínima para suministrar una iluminación adecuada para los sistemas de televisión se proporciona en la Tabla 1.

**g.- Iluminación de puestos de trabajo.** **(1).**- Iluminación – La iluminación de los puestos de trabajo deberá determinarse por las tareas a realizar. Los requerimientos de iluminación se dan en la Tabla 1. **(2).**- Iluminación ajustable – La iluminación de los puestos de trabajo deberá ser ajustable disminuyendo intensidad hasta el apagado. **(3).**- Iluminación suplementaria – Se deberá disponer de luminarias portátiles para utilizar cuando sea necesaria una iluminación adicional en un puesto de trabajo. **(4).**- Distribución de la luz – La iluminación deberá ser uniforme en toda el área de trabajo. la relación de iluminancias dentro de un área de trabajo deberá cumplir las siguientes especificaciones: (A).- Aéreas primarias de visión (30 a 60 grados de ángulo visual alrededor de las líneas primarias de visión) – Mantener una relación de iluminancia de 3:1. (B).- Áreas adyacentes de visión (zona de 30 a 60 grados alrededor de las áreas primarias de visión) – Mantener una relación de iluminancia de 5:1. (C).- Área de trabajo por

fuera de las áreas adyacentes de visión – Mantener una relación de iluminancia 10:1. (5).-Sombras – El emplazamiento de las fuentes de luz será tal que no se creen sombras sobre las superficies de trabajo o sobre las pantallas de información en posición normal de los tripulantes o equipos. (6).- Reflexiones – Las fuentes de luz deberán estar diseñadas y emplazadas para evitar la creación de reflexiones o provocar el deslumbramiento en las áreas de trabajo y pantallas de información, desde cualquier posición de trabajo que podría interferir con la tarea o rendimiento.

## **6.- REQUERIMIENTOS EN LA ILUMINACIÓN DE LAS ACTIVIDADES EXTRAVEHICULARES – EVA (Extravehicular Activity).**

Se considera una actividad extravehicular a aquella que se realiza con la tripulación presurizada en un entorno despresurizado o espacial. Este tipo de actividad comienza con la despresurización de la esclusa del módulo espacial y termina con la represurización de la misma, o después del ingreso de la tripulación. Estas actividades extravehiculares proporcionan un medio eficaz para el servicio, mantenimiento, reparación o sustitución de equipos espaciales sin necesidad de abandonar el medio ambiente presurizado.

### **a.- Iluminación en las actividades EVA.**

Los requisitos de iluminación de las estaciones de trabajo EVA se pueden obtener mediante la iluminación directa o indirecta de la luz solar, mediante luces montadas de forma permanente, luces portátiles, o una combinación de estas fuentes.

Los factores de diseño que se han de considerar para la iluminación de las estaciones de trabajo son:

- (1).- Estado orbital. La iluminación debe ser suficiente para las condiciones de día y noche orbitales, atendiendo al ritmo temporal en que se producen estas condiciones.
- (2).- Iluminación requerida. El nivel de iluminación necesario para la tarea a desarrollar.
- (3).- Deslumbramiento. Se han de establecer las disposiciones pertinentes para reducir el deslumbramiento especular provocado cuando la imagen de una fuente de luz se refleja sobre una superficie situada en el campo visual, y el deslumbramiento directo producido por fuentes de luz ubicadas dentro del campo visual.
- (4).- Relación de luminancias. La relación entre la luminancia de los objetos y el entorno deberá ser tal que optimice las características visuales para el nivel de detalle del trabajo a realizar. Los mayores ratios serán convenientes para los trabajos con más detalle.
- (5).- Contraste. Diferencia entre la luminancia de un objeto, o su cualidad prominente, y su fondo. La atención de los seres humanos tiende a ser atraída hacia los elementos con contrastes elevados en los entornos visuales.
- (6).- Seguridad. Debido a la ausencia de atmósfera, la falta de corrientes convectivas que eliminen el calor hace que se deba prever, por seguridad, de una protección física para eliminar cualquier riesgo térmico.
- (7).- Controles de la luz exterior. Los controles de las luces instaladas de forma permanente en el exterior deberán estar ubicados tanto en el exterior como en el interior del módulo espacial, y en lugares convenientemente accesibles.

**b.- Limitaciones de las estaciones de trabajo extravehiculares.**

Los requisitos para las actividades extravehiculares están impuestos por la antropometría, restricción de movimientos de la tripulación, diseño de los accesorios para el acceso a las actividades extravehiculares, especificaciones de control y seguimiento en pantalla, y la iluminación necesaria en la estación de trabajo.

**c.- Iluminación en la estación de trabajo extravehicular.**

Las categorías de iluminación y rango de iluminancias para las actividades genéricas extravehiculares se muestran en la Tabla 4, y los niveles mínimos de iluminación para los trabajos extravehiculares se indican en la Tabla 5.

Categorías y rangos de iluminancias para una actividad extravehicular	Rango de Iluminancia (lux)
Trasladarse por pasillo	35 - 55
Aéreas de trabajo con baja iluminación con tareas visuales simples ocasionales	55 - 110
Tareas visuales de gran tamaño u objetos con elevado contraste	215 - 325
Tareas visuales de pequeño tamaño u objetos con contraste medio	325 - 750
Tareas visuales de muy pequeño tamaño u objetos de bajo contraste	540 - 1080
Tareas visuales con objetos de muy pequeño tamaño o bajo contraste durante un período prolongado	1080 - 2150

**Tabla 4.- Categorías y rangos de iluminación para actividades extravehiculares. NASA-STD-3000.**

Niveles mínimos de Iluminancia para tareas extravehiculares	Iluminancia mínima (lux)
Desplazamiento del astronauta al lugar de trabajo para misiones de reparación de satélites o transferencia de carga	55 - 110
Astronauta situando satélite en el compartimento de carga o zona de trabajo	215
Prestación de servicios EVA a satélites en su lugar de trabajo; uso de herramientas manuales para misiones de reparaciones simples no peligrosas	325
Prestación de servicios EVA a satélites en su lugar de trabajo; uso de herramientas nuevas y complejas no peligrosas	540
Prestación de servicios EVA a satélites en su lugar de trabajo; uso de herramientas complejas y tareas peligrosas	810

**Tabla 5.- Niveles mínimos de iluminancia para actividades EVA. NASA-STD-3000.**

**d.- Otros requisitos adicionales de iluminación incluyen:**

- (1). Luces – Las estaciones de trabajo extravehiculares estarán iluminadas por luces fijas permanentes y/o luces portátiles. La iluminación será la adecuada para los requerimientos de la tarea específica en condiciones tanto diurnas como nocturnas.
- (2). Deslumbramiento – La iluminación de no provocará un deslumbramiento excesivo ni creará ninguna otra molestia a la tripulación.
- (3). Campo de visión - Las fuentes de luz en los puestos de trabajo no deberán estar localizados dentro de 1.05 radianes (60°) del centro del campo visual de la tripulación.

- (4). Iluminación difusa – Se deberá utilizar una iluminación difusa y evitar las superficies muy pulidas.
- (5). Luminarias – Las fuentes de luz deberán proporcionar uniformidad a la iluminación. Las luminarias deberán ser diseñadas para dirigir la luz directa hacia las áreas deseadas sin causar molestias visuales a los tripulantes. Las luminarias situadas en las inmediaciones de los puestos de trabajo deberán estar diseñadas para proteger a la tripulación de riesgos térmicos y físicos.
- (6). Relación de luminancias – La relación de luminancias en los puestos de trabajo se ajustará a las siguientes especificaciones:
- A.- 3:1 entre las zonas de trabajo y entorno próximo.
  - B.- 5:1 entre las zonas de trabajo y entorno adyacente próximo.
  - C.- 10:1 entre las zonas de trabajo y superficies remotas.
  - D.- 20:1 entre fuentes de luz y las superficies adyacentes próximas.
- (7). Luces Portátiles – Se facilitarán luces portátiles para el mantenimiento no planificado, las situaciones de emergencia, y para el adecuado desempeño de tareas cuando la iluminación fija no esté disponible.
- (8). Controles de Luz Exterior – Los controles de las luces exteriores instaladas de forma permanente deberán estar situados tanto en el exterior como en el interior del módulo espacial en lugares convenientes.
- (9). Apertura del Haz de Luz - El sistema de iluminación deberá tener la suficiente apertura del haz en el plano perpendicular como para ofrecer a los tripulantes una buena orientación visual periférica.

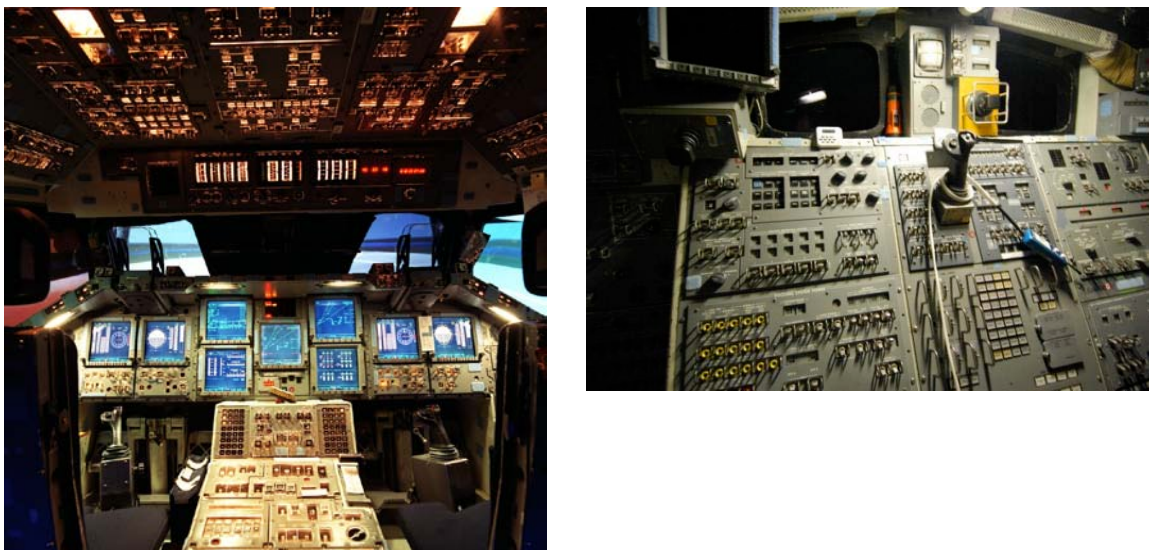
## **9. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DEL VEHÍCULO ORBITAL.**

El sistema de iluminación del vehículo orbital proporciona iluminación interior y exterior. Las luces interiores del vehículo suministran la iluminación de los indicadores y controles, y la iluminación general del vehículo así como para las operaciones con los equipos. Las luces exteriores proporcionan iluminación para las operaciones con las compuertas de la bodega de carga, actividades extravehiculares, EVA, operaciones con el brazo de control robot (RMS), y operaciones mantenimiento y acoplamiento.

### **a.- Luces interiores.**

Formada por proyectores de iluminación general, luces de paneles, luces de instrumentos, luces de paneles numéricos y luces de aviso.

(1).- Iluminación general.- Se dispone en toda la cabina de la tripulación. Permite que los astronautas operen dentro de la cubierta de vuelo, cubierta intermedia, exclusiva y túnel adaptador, si está instalado. Se utilizan tanto lámparas fluorescentes como incandescentes. Las lámparas fluorescentes (5.500 K – Ra > 96 y espectro reforzado en el azul), son alimentadas a través de balastos electrónicos, con regulación de brillo, de las barras de 28 V de corriente continua, al igual que las lámparas incandescentes a través de reguladores de brillo. La iluminación de emergencia es proporcionada por una serie de luminarias seleccionadas que se alimentan a través de una entrada de alimentación separada desde una barra de emergencia.



**Figura 8.** - Cubierta de vuelo: (a).- Puestos del Comandante (izquierda) y del piloto (derecha). (b).- Puestos de maniobra orbital (izquierda) y Puesto de bodega y control del RMS. NASA.

Luminarias con dos fluorescentes se encargan de la iluminación del puesto de control de la misión y del puesto de control de la bodega de carga. La iluminación de ambos puestos es manipulada por un interruptor on-off, con un interruptor giratorio para el control de brillo, pero cada una de ellas desde su correspondiente panel de control.

Se utilizan luminarias con una sola lámpara fluorescente en el panel frontal, quita reflejos, tanto del puesto del comandante como del puesto del piloto, en las consolas laterales del puesto del comandante y del piloto así como en el puesto de control orbital, situado detrás del puesto del piloto. Las luces del panel frontal y de consola del puesto del comandante, figura 8, se actúan, cada una de ellas, con un interruptor de tres posiciones: encendido-variable- apagado y un mando rotatorio para variar el brillo de la luz que actúa cuando la posición del interruptor está en variable, ambos interruptores y mandos está situados en el panel de control del puesto de comandante. Las funciones de los controles de las luces del panel frontal y consola del puesto del piloto son las mismas que las del puesto de comandante, salvo que los interruptores y mandos están situados en el panel de control del puesto de piloto.

La luz del puesto de control orbital está controlada por un interruptor encendido-apagado- variable, con un mando giratorio de mando de brillo, ambos situados en su panel de control. Igual que la anterior es la luz del puesto de control del brazo robot (RMS). Ver figuras 8 y 9. Dos proyectores centrales contienen, cada uno de ellos, dos lámparas incandescentes: una lámpara ilumina el regazo del comandante y la otra ilumina la parte central de la consola central. En el otro proyector una lámpara ilumina el regazo del piloto y la otra la consola central. El comandante o piloto pueden seleccionar la iluminación del regazo o la consola central, pero no ambos a la vez. La luz del regazo o de consola del comandante, o piloto, es controlada por el selector asiento-apagado-consola central, junto con el correspondiente botón rotatorio de mando de brillo, situados en el panel de control del comandante o piloto respectivamente.





Cubierta de vuelo. Puesto de maniobra orbital.



Cubierta de vuelo. Vista posterior de la cabina de vuelo



Cubierta de vuelo. Puesto de control del RMS.



Lateral izquierdo de la cubierta intermedia.



Techo de la cubierta intermedia.



Lateral derecho de la cubierta intermedia

**Figura 9.-** Distintas imágenes de las cubiertas de vuelo e intermedia. NASA.

Los equipos de iluminación de la cubierta intermedia se encuentran en el techo protegidos por una placa de policarbonato traslúcido. Las luminarias son las mismas que la del puesto de control orbital. Se controlan individualmente con interruptores on-off situados en el panel de control de la cubierta intermedia. Este panel está iluminado por dos pequeñas lámparas fluorescente situadas a cada extremo del panel empotrado y controladas por un interruptor de encendido-apagado situado en el mismo panel. La iluminación del compartimento de gestión de residuos dispone de una luminaria igual que la del puesto de control orbital controlada por un interruptor on-off.



**Figura 10.-** (a) Luminaria estanca utilizada en los paneles derecho e izquierdo de la cabina de pilotos del vehículo orbital, con dos lámparas fluorescentes, variación de brillo utilizando el mando rotatorio y difusor de policarbonato. Peso aproximado 1'2 kg. (b) Prototipo de luminaria con LED's. (c) Luminaria estanca con dos fluorescentes e interruptor de on-off y botón de regulación de brillo, con difusor de policarbonato.



**Figura 10.-** (a).- Proyector de iluminación con compuertas abiertas. NASA.

La cocina, aseo y literas (si están instaladas) de la cubierta intermedia utilizan las mismas luminarias que las consolas del puesto de comandante y del piloto y son controladas individualmente. Las cuatro luminarias de la exclusiva son similares a las de las consolas del puesto de comandante y del piloto, excepto que son controladas desde el interior y exterior de la exclusiva. Cuando se instala el túnel adaptador para una misión con acoplamiento a la Estación Espacial Internacional, las luminarias son también del tipo anterior. Las luces 2, 3 y 4 son controladas por los distintos interruptores on-off situados en el panel de control del túnel adaptador. La luz restante 1 está controlada por el interruptor encendido-apagado en el propio túnel y otro situado en la cubierta intermedia.



(2).- Iluminación de Paneles. Muchos paneles de instrumentos de la cubierta de vuelo tienen luces incorporadas, que iluminan nombres, señales en indicadores y controles. Esta iluminación ayuda a la tripulación a localizar los indicadores y controles durante las operaciones del vehículo orbital. La luz del panel se transmite desde la parte de detrás del panel a través de los nombres y señales que aparecen iluminados con luz blanca. También se transmite a los bordes de las pantallas y controles para una iluminación general. La fuente de luz consiste en pequeñas lámparas incandescentes, "lámparas de grano de trigo" (diámetro 3 mm y largo 6 mm, aproximadamente) montadas entre la cara metálica de fondo y el recubrimiento plástico del panel. El recubrimiento tiene una primera capa de pintura

blanca y una capa de pintura gris en la superficie exterior. La nomenclatura del panel se forma grabando las letras y símbolos en la pintura gris, dejando al descubierto la capa blanca inferior. La iluminación del panel del puesto de control de misión y orbital es controlada por selectores rotatorios apagado-variable-brillo.

(3).- Iluminación de Instrumentos. Los instrumentos de la cabina de vuelo tienen su iluminación integrada de forma que permite a la tripulación de vuelo leer los datos que se muestran. La iluminación es proporcionada por lámparas incandescentes, del tipo comentado, ubicadas detrás de la faz del instrumento. Se utilizan prismas para distribuir la luz uniformemente sobre la faz del instrumento. Las luces de los instrumentos, paneles y puesto de control orbital están controladas por selectores rotatorios apagado-variable-brillo.

(4).- Iluminación de indicadores numéricos. Seis indicadores, en la cabina de vuelo, utilizan representaciones numéricas (digitales) iluminadas para mostrar lecturas de datos. La iluminación es debida a una lámpara incandescente situada en cada segmento de cada dígito. Son necesarios siete segmentos para generar un dígito, es decir los números del cero al nueve. Cada indicador numérico tiene una luz roja para indicar los fallos en el indicador, esta lámpara se encenderá cuando una lámpara del indicador falle. Los seis indicadores numéricos muestran el tiempo de los eventos, tiempo de la misión, etc. La iluminación del panel y del indicador numérico de la estación orbital se controla mediante conmutadores rotatorios apagado-variable-brillo.

(5).- Proyector exterior. Las luces exteriores garantizan la visibilidad de la tripulación durante las operaciones con las compuertas de la bodega de carga, las operaciones extravehiculares, las operaciones con el brazo robot (Remote Manipulator System – RMS), y las operaciones de mantenimiento y acoplamiento. Los proyectores de la bodega de carga disponen de lámparas de halógenos metálicos. Se montan dos tipos de proyectores, un tipo con haz más intensivo en el mamparo de proa de la bodega de carga y el otro de haz más extensivo en el interior de la bodega de carga, ambos tipos están controlados mediante interruptores on-off situados en el puesto de control de la bodega y brazo robot. El proyector del RMS, que utiliza una lámpara halógena incandescente, está situado en las proximidades del extremo del actuador, o mano del RMS, junto a la cámara de TV. Proporciona el nivel de iluminación necesario para poder actuar el brazo con el mando de control remoto observando las imágenes proporcionadas por la cámara de TV.



**Figura 11.-** Extremo del brazo robot con la luz y la cámara para su manejo. NASA.

(6).- Luces de seguridad. Los montajes de iluminación de seguridad se han construido para entornos hostiles. Están ventilados por gas inerte para prolongar la vida de las



lámparas. Los montajes contienen la caja de control, un número de lámparas conectadas en paralelo, varias luces piloto, y el circuito de ventilación. La caja de control dispone de componentes para el monitorizado y control del flujo del gas de ventilación a través del montaje de lámparas.

## 10.- SISTEMAS DE ILUMINACIÓN AERONÁUTICA EXTERIOR DEL VEHÍCULO ORBITAL.

El vehículo orbital no dispone ni de luces de navegación, ni anticollisión, ni proyectores de aproximación y aterrizaje. Las luces de navegación y anticollisión no son necesarias ya que se cierra el espacio aéreo en la zona de vuelo prevista por el vehículo espacial y se dota de una escolta formada por dos cazabombarderos que vuelan en paralelo, uno a estribor y el otro a babor, del vehículo orbital hasta la altura de decisión. Para suplir las luces de aproximación y aterrizaje se utilizan dos camiones tráiler con tres proyectores de Xenon de alta intensidad luminosa, cada uno de ellos suministra mil millones de bujías (980.392.157 cd), que iluminan desde la cabecera de la pista los aproximadamente 300 metros iniciales que se corresponden a la zona de toma de contacto. El resto del guiado se realiza mediante las luces de eje y borde de pista de vuelo, utilizadas para la aviación comercial.



**Figura 12.-** (a) Aterrizaje nocturno del Space Shuttle. (b) Vista desde el interior de la cabina de vuelo durante un aterrizaje nocturno del Space Shuttle. NASA.



**Figura 13.-** Uno de los dos tráiler con tres proyectores de Xenon utilizados para el apoyo al aterrizaje nocturno de los Space Shuttle. NASA.

## 11.- SISTEMAS DE ILUMINACIÓN PARA LAS ACTIVIDADES EXTRAVEHICULARES.

Con el lanzamiento y el montaje de la Estación Espacial Internacional, se ha hecho necesario establecer sistemas de iluminación que pudiesen sobrevivir y operar en el entorno del espacio fuera de la atmósfera de la Tierra. Mientras los astronautas se encuentran fuera del vehículo orbital, o de la Estación Espacial, para realizar los montajes, el mantenimiento y experimentaciones, son necesarios proyectores de luz artificial. También son necesarios proyectores para los sistemas de cámara de vídeo en diversos puntos exteriores de la estación. Para el desarrollo de las luminarias y lámparas, así como evaluar el rendimiento de las los arcos de descargas de alta intensidad en las mismas, fue necesario simular condiciones de microgravedad. A partir de las condiciones de trabajo de las luminarias y de las necesidades de niveles de iluminación, se desarrollaron los aspectos de diseño mecánico y fotométrico de los equipos teniendo en cuenta los efectos del oxígeno atómico (atmósfera interior), el bombardeo de micrometeoritos, temperaturas extremas, incidencia de rayos cósmicos y gamma, rayos ultravioleta y campos magnéticos.

Los requisitos de iluminación para actividades EVA se han satisfecho, en el programa STS (Space Transportation System), adoptando luces fijas y portátiles. Así, siete proyectores en la bodega de carga proporcionan un mínimo de 541 lux, estas luces junto a las luces centrales de iluminación general de la bodega proporcionan 580 lux a 9'1 m. Figura 10.

El tipo de órbita que lleva la Estación Espacial Internacional, y por tanto el vehículo orbital atracado a ella, hace que el Sol se ponga cada 90 minutos. Para el trabajo durante el período nocturno, o cuando los astronautas necesiten disminuir el contraste entre las zonas iluminadas por el sol y las que se encuentran en sombra, disponen de una iluminación artificial especial.

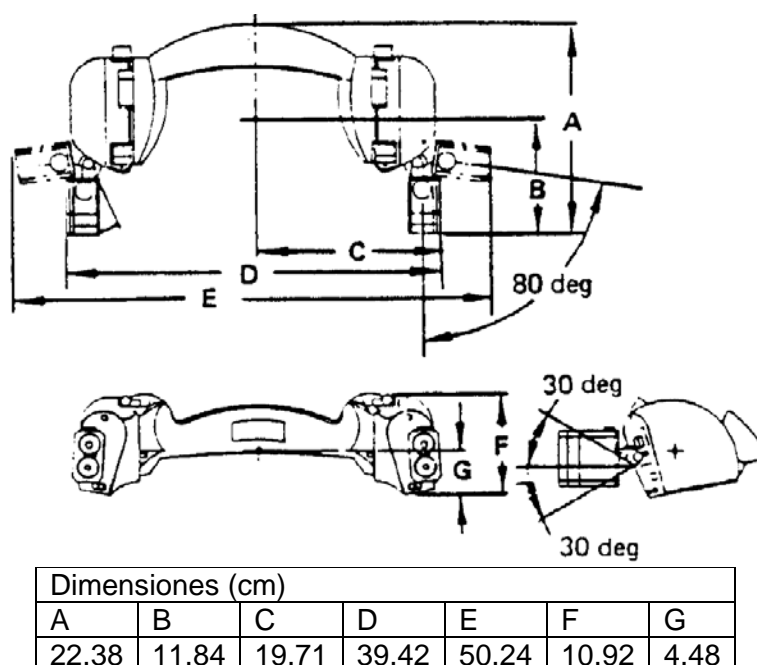
(a).- Las luces montadas en el casco del traje espacial, figura 15, se emplean para complementar, o suplir, las luces fijas. Las cuatro luces del EMU (Extravehicular Maneuvering Unit) o "traje espacial", son direccionalmente ajustables y proporcionan distintos niveles de iluminación mediante una combinación de selección de las luces. Cada una de las cuatro lámparas halógenas produce 215 lux a 1 m. Las características del sistema de iluminación se indican en la Tabla 6.

Información técnica	
Peso	2'27 kg (sin baterías); 2,67 kg (con baterías)
Alimentación principal	Dos módulos de baterías independientes, una por cada lado
Baterías principales	Bromuro de Litio, tamaño D, 3.5 V, 8 A-hr cada una
Vida baterías	Mínimo 3 h operando con cuatro lámparas
Tensión: Circuito abierto	$3.77 \pm 0.2$ Vdc
Carga	3.25 Vdc
Lámparas	Dos lámparas halógenas por lado, 2.5 W cada una
Intensidad lámpara	215 lux por lámpara a 91 cm
Vida lámpara	20 hr
Iluminación	41 cm por 61 cm a 61 cm



Encendido/apagado	Interruptor de circuito que activa la secuencia en cada lado
Regulador de suministro de energía	Cuatro baterías de reloj en serie por lado
Regulador batería	Oxido de plata; 1.5 V Duracell, 38 mA-hr
Protección térmica	Termostato $71^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ y aislamiento multicapa

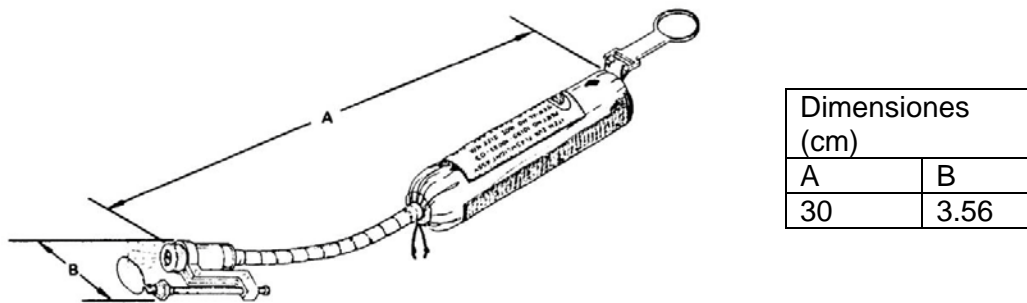
**Tabla 6.-** Información técnica del sistema de luces montadas en el casco del traje espacial.



**Figura 15.-** Luces del casco del “traje especial”, STS (Space Transportation System). NASA.

(b).- La linterna para actividades EVA se muestra en la Figura 16. La luz está montada sobre un cuello flexible y dispone de un espejo que ayuda a mejorar la visibilidad en zonas inaccesibles.

Información técnica de la linterna para actividades EVA	
Peso	0.13 kg
Baterías	Dos alcalinas AA envueltas con Teflon y Kapton, 1.5 V cada una
Vida baterías	2 años
Lámpara	Lámpara normalizada de linterna incandescente
Encendido/apagado	Giro carcasa de la lámpara
Cantidad en vuelo	Una



**Figura 16.-** Linterna para actividades EVA. NASA



**Figura 17.-** Astronauta trabajando durante la noche y el día. NASA.

## 12.- CONSIDERACIONES FINALES.

El principal objetivo actual en las investigaciones en iluminación es determinar las longitudes de onda de la luz óptima, y sus niveles de iluminación, para su aplicación como una contramedida al sueño y a los trastornos circadianos de los astronautas. El déficit de sueño en los astronautas se acumula, a menudo, rápidamente, por lo que se considera un factor de riesgo común durante las misiones espaciales. Los cambios fisiológicos y de comportamiento resultantes, pueden poner en peligro el éxito de la misión debido a la disminución de la lucidez mental, la capacidad cognitiva y el rendimiento psicomotriz. Más del 45% de los medicamentos que se toman en el espacio son de ayuda al sueño.

La luz ambiental es el estímulo principal para la regulación circadiana en los seres humanos. Mientras que en la Tierra los seres humanos tienen un ciclo de día-noche de 24 horas que mantiene un ciclo circadiano saludable, durante los vuelos espaciales los astronautas deben enfrentarse con una evolución rápida, o gravemente alterada,

del ciclo día-noche, además de desarrollar su trabajo en el interior de la nave espacial, generalmente, con poca luz y con pocas o ninguna ventana.

El Laboratorio de Ciencias de la Vida en el Espacio de la NASA ha desarrollado un módulo prototipo para iluminación con LED's, ó SSLM (Solid State Lighting Module), con las mismas características físicas que los módulos de iluminación con fluorescentes. Algunas tripulaciones de la Estación Espacial Internacional reemplazaran, desde 2008 y sólo durante su misión, las luminarias con fluorescentes por las nuevas con LED's, para hacer una evaluación completa de las mismas. A su regreso del espacio, esta tripulaciones retornarán con las nuevas luminarias para hacerles los correspondientes ensayos de comportamiento en el espacio. Se elaborará un informe con los resultados del laboratorio al que se adjuntarán a las evaluaciones que de ellas proporcionen los tripulantes. Después de la obtención de varios informes de retorno, estos se presentarán a las juntas de la NASA y serán archivados para su utilización en el diseño de sistemas de iluminación en la próxima generación de vehículos de exploración. El director de proyecto del SSLM, Dan Shultz, comenta que los LED pueden ser especialmente indicados para los vehículos espaciales dada su baja potencia de consumo, su ligereza y su menor generación de calor en comparación con otras fuentes de luz. Además, si se elige un LED blanco con pico de emisión en el azul se ayuda a mantener ritmo circadiano y por lo tanto el estado de alerta en la tripulación. La próxima generación de módulos SSLM contendrá múltiples LEDs para proporcionar generar el espectro deseado, por ejemplo obtener luz blanca visible por la combinación de LEDs con sus picos de emisión en el color rojo, verde y azul.

Se está analizando, por otra parte, la utilización de luz brillante en el suelo como una medida para contrarrestar las alteraciones circadianas, pero aún no se ha utilizado durante los vuelos espaciales. Proporcionar la suficiente intensidad de luz blanca en las áreas de trabajo dentro del transbordador espacial y en la Estación Espacial Internacional (ISS) plantea varias inquietudes entre las que figuran el calor producido por los sistemas de iluminación y su consumo de energía. Una forma potencialmente eficaz para mitigar estos factores, requiere una mejor comprensión de cómo la luz (incidencia de fotones en la visión) regula el sistema circadiano humano, y un conocimiento de cómo caracterizar la efectividad de esa luz para diferentes longitudes de onda y sus combinaciones. Con esos datos, podría ser posible el optimizar el espectro de la luz como una contramedida para las alteraciones circadianas específicas antes o durante los vuelos espaciales y para una iluminación saludable en el interior de las naves espaciales.

## REFERENCIAS.

- 1.- "*NSTS Shuttle Reference Manual*" – Science Kennedy Space Center. NASA.
- 2.- "Human Space Flight" – NASA
- 3.- "User's Guide - International Space Station" – NASA
- 4.- "Man-Systems Integration Standards (MSIS)", Vol I – NASA-STD-3000
- 5.- "Man-Systems Integration Standard – Appendices (MSIS)", Vol II – NASA-STD-3000.
- 6.- "Human Factors Design Standard (HFDS)" – FAA HF-SFD-001-June 2003

- 7.- *"Lighting handbook : Reference & Application"* Illuminating Engineering Society of North America (9th ed.). New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- 8.- *"United States Code of Federal Regulations"*. Title 21, Part 1040. Performance standards for light emitting equipment (29 CFR 1910).
- 9.- "Space Shuttle Program Process Control Standards & Practices Handbook". NASA
- 10.- *"Alumbrado en las aeronaves"*. Bugallo, F.J., Lozano, C.A. XXXII Symposium Nacional de Alumbrado – Fuengirola 2006.
- 11.- *"Bioastronautics Data Book"* NASA SP-3006. Scientific and Technical Information Division. NASA.
- 12.- *"Optimizing Light Spectrum for Long-Duration Spaceflight"*. Human Factors and Performance. National Space Biomedical Research Institute. NSBRI.

**Las fotografías y los dibujos están publicados por cortesía de la NASA (National Aeronautics and Space Administration).**